

OPTIMASI KEKUATAN *HORIZONTAL VESSEL* MENGUNAKAN ANALISIS ELEMEN HINGGA

Riki Effendi
d3st4r@gmail.com
Universitas Muhammadiyah

ABSTRAK

Bejana tekan (*pressure vessel*) adalah tempat untuk menampung sementara suatu fluida baik yang berupa cairan maupun gas. Bejana tekan dibangun dengan persyaratan kekuatan dan kestabilan konstruksinya. Kekuatan suatu struktur dihitung berdasarkan tegangan maksimum yang terjadi pada struktur tersebut berdasarkan beban operasi yang diterimanya. Tegangan yang terjadi pada dinding bejana sering disebut dengan tegangan membran, yang mempunyai tiga arah utama yaitu; tegangan hoop, tegangan meridian, dan tegangan radial. Kemajuan teknologi telah memberikan pilihan dalam melakukan analisis kekuatan struktur, selain secara eksperimental, komputasi numerik dengan metode elemen hingga (MEH) juga menjadi pilihan. Pada analisis ini objek yang di analisis adalah bejana horizontal berdinding tipis dengan menggunakan paket program komersial *ANSYS Rel 11*. Pembebanan dilakukan secara statik dengan memberikan tekanan internal maksimum 120 psi. Dari hasil analisis di dapat tegangan tarik maksimum sebesar 11931 psi dan tegangan geser maksimum sebesar 6434,7 psi, yang terjadi pada *nozzle* di daerah sambungan antara *nozzle* dengan *silinder shell*.

Kata Kunci : bejana tekan, tegangan, tekanan, MEH, ANSYS

I. PENDAHULUAN

Bajana tekan (*pressure vessel*) adalah salah satu peralatan proses yang paling banyak dijumpai, yang digunakan untuk menyimpan minyak dan gas. Karena sifat minyak dan gas yang mudah terbakar, maka diperlukan suatu persyaratan khusus dalam teknik perancangan dan analisis kekuatan konstruksinya. Perencanaan dan evaluasi saling mempunyai keterkaitan guna pengambilan keputusan.

Dalam pengoperasiannya bejana tekan akan menerima beban berupa tekanan internal, tekanan eksternal dan berat bejana serta isinya dll. Beban tersebut akan menimbulkan tegangan dalam dinding bejana dan bagian lain dari bejana tekan yang akan mengakibatkan timbulnya regangan dan deformasi. Agar bejana dapat beroperasi dengan aman, maka berbagai tegangan yang terjadi harus dihitung dan harganya haruslah tidak melebihi harga tegangan yang dapat dipikul oleh dinding bejana maupun bagian-bagian lain dari bejana.

Kemajuan teknologi telah memberikan pilihan dalam melakukan perancangan dan analisis pada bejana tekan dan juga pada struktur lainnya. Untuk analisis, dimana selain secara eksperimental dan teoritis, komputasi numerik dengan bantuan komputer juga

menjadi pilihan. Analisis numerik dengan metode elemen hingga menggunakan program komersial *ANSYS Rel 11*, yang dapat menampilkan spesimen yang dianalisis atau diuji secara simulasi. Sehingga didapatkan hasil yang mendekati kondisi sebenarnya secara lebih cepat dan mudah.

Adapun tujuan dari analisis ini adalah :

1. Menghitung tegangan, regangan dan deformasi yang terjadi pada dinding bejana tekan akibat pemberian tekanan internal.
2. Melihat distribusi tegangan dan regangan yang terjadi pada dinding bejana tekan.

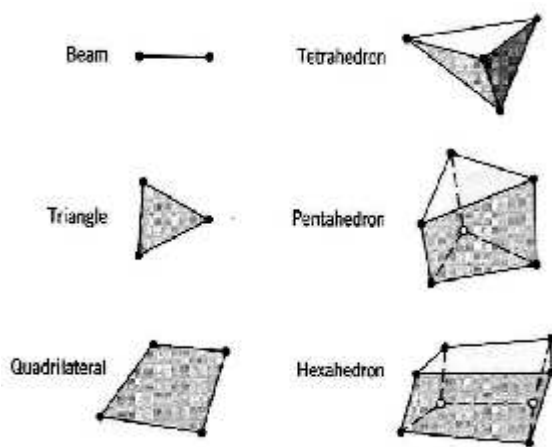
II. KAJIAN TEORI

1. Konsep Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (MEH) adalah salah satu metode numerik yang dapat digunakan untuk memperoleh solusi dari berbagai persoalan teknik. Dasar dari metode elemen hingga adalah membagi benda kerja (kontinum) menjadi elemen-elemen kecil (elemen diskrit) yang jumlahnya berhingga, sehingga dapat menghitung reaksi akibat beban

(load) pada kondisi batas (*boundary condition*) yang diberikan. Dengan menggunakan metode elemen hingga kita dapat mengubah suatu masalah yang memiliki derajat kebebasan (*degree of freedom*) tertentu sehingga proses pemecahan masalahnya lebih sederhana.

Metode elemen hingga (MEH) banyak digunakan untuk menghitung struktur yang diakibatkan pembebanan ataupun pengaruh lain pada struktur sehingga menyebabkan terjadinya regangan yang juga disertai tegangan dalam dan reaksi titik tertahan. Tujuan utamanya adalah untuk memperoleh nilai pendekatan (bukan eksak) tegangan dan regangan yang terjadi pada suatu struktur, pendekatan dengan elemen hingga merupakan suatu analisa berdasarkan asumsi tegangan atau regangan, bahkan juga berdasarkan kombinasi dua asumsi tadi dalam setiap elemennya.



Gambar 1. Tipe - Tipe Elemen Hingga

Gambar 1 di atas menunjukkan tipe - tipe elemen hingga, dari elemen-elemen tersebut dapat disusun persamaan-persamaan matrik yang bisa diselesaikan secara numerik dan hasilnya menjadi jawaban dari kondisi beban yang diberikan pada benda kerja tersebut. Penyelesaian matematis dengan menghitung invers matrik akan diperoleh persamaan dalam bentuk matrik untuk satu elemen dan bentuk matrik total (global) yang merupakan penggabungan (*assemblage*) matrik elemen.

Langkah-langkah yang umum digunakan dalam analisis elemen hingga adalah sebagai berikut :

- Membuat dan memecahkan solusi bagi suatu model menjadi satu atau lebih elemen model.
- Mengasumsikan suatu fungsi bentuk untuk menyatakan sifat fisik dari elemen-elemen yang dibentuk.
- Membuat persamaan untuk tiap-tiap elemen.
- Merangkai matrik global dari persamaan tiap-tiap elemen sehingga membentuk matrik yang menyatakan sifat dari model secara keseluruhan.
- Memasukkan kondisi batas, keadaan mula-mula, pembebanan dan selanjutnya memecahkan solusi tersebut.
- Memperoleh nilai-nilai pokok dan yang lain yang ingin diketahui.

2. Analisis Tegangan dengan Metode Elemen Hingga

Secara garis besar bentuk persamaan dalam penyelesaian tegangan dan regangan untuk struktur dan bejana tekan didasarkan pada rumus dasar perhitungan kekuatan dalam konstruksi mekanik untuk daerah elastis sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Dimana F adalah besar gaya yang bekerja dan A adalah luas penampang yang tegak lurus terhadap arah kerja gaya. Jika ε adalah regangan rata-rata, ΔL adalah besar pertambahan panjang dari L atau panjang mula-mula sebelum diberi gaya, maka nilai ε yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

Menggunakan hukum *Hooke* persamaan (1) dan (2) dapat digabungkan menjadi :

$$F = \left(\frac{AE}{L} \right) \cdot \Delta L \quad (3)$$

dimana :

F = gaya atau beban (lb)

A = luas penampang (in^2)

E = modulus elastisitas (psi)

ΔL = pertambahan panjang (in)

Dari rumus dasar di atas menunjukkan hubungan antara beban, sifat bahan, geometri dan pergeseran yang ditimbulkan dapat disusun

bentuk umum persamaan matrik. Untuk problem perhitungan tegangan akibat beban mekanik dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan matrik serta memberikan syarat batas dan pembebanan pada persamaan sebagai berikut :

$$[K]\{u\} = F \quad (4)$$

dimana :

$[K]$ = matrik kekakuan

$\{u\}$ = matrik pergeseran

$\{F\}$ = matrik beban

Singkatnya, pada metode elemen hingga setiap persamaan disusun dan di urutkan menjadi sebuah matrik, dimana besar matrik yang dihasilkan (khusus untuk matrik kekakuan / *stiffness*) adalah jumlah nodal yang dimiliki struktur dikali dengan jumlah derajat kebebasan.

Berikut ini adalah contoh persamaan yang disusun menjadi sebuah matrik dari suatu struktur yang memiliki 3 nodal, dimana tiap nodal memiliki 2 derajat kebebasan.

$$\begin{bmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{2x} \\ F_{2y} \\ F_{3x} \\ F_{3y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & K_{15} & K_{16} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & K_{25} & K_{26} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} & K_{35} & K_{36} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} & K_{45} & K_{46} \\ K_{51} & K_{52} & K_{53} & K_{54} & K_{55} & K_{56} \\ K_{61} & K_{62} & K_{63} & K_{64} & K_{65} & K_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ V_1 \\ U_2 \\ V_2 \\ U_3 \\ V_3 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan bentuk persamaan matrik untuk tiap elemen dapat disusun bentuk persamaan matrik gabungan seperti di atas yang kemudian memberikan hasil tegangan pada setiap titik dan elemen.

Penyelesaian metode elemen hingga (MEH) dapat diselesaikan dengan perhitungan menggunakan bantuan program *ANSYS* untuk memperoleh hasil akhir berupa nilai dan distribusi tegangan dan regangan pada seluruh titik elemen pada komponen dengan mengikuti langkah perhitungan yang diatur dalam program tersebut.

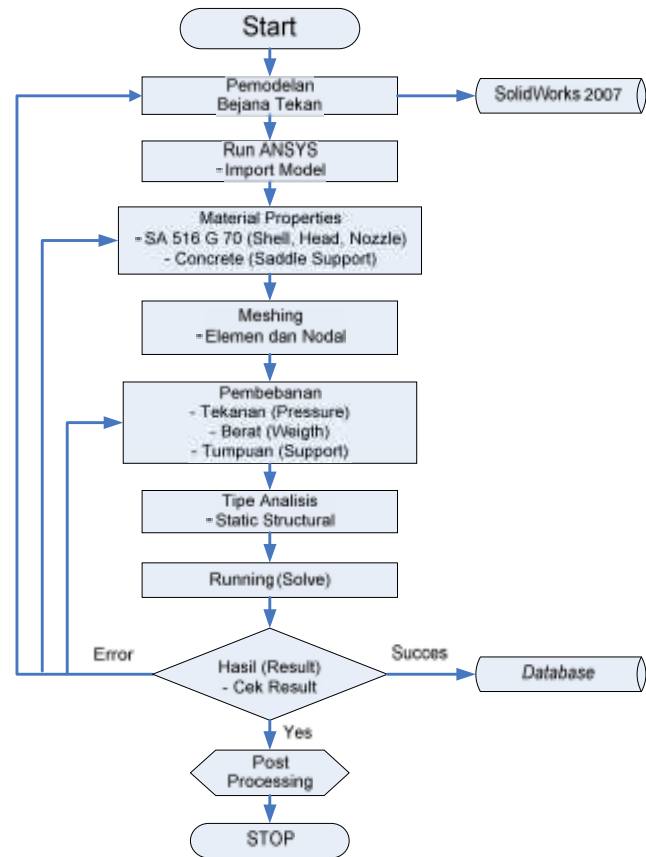
III. METODOLOGI PENELITIAN

1. Prosedur Analisis

Analisis dengan metode elemen hingga pada program *ANSYS Rel 11* dilakukan dengan

urutan proses perhitungan, yaitu : pemodelan (*SolidWorks 2007*), *meshing*, pemberian beban dan syarat batas, penyelesaian dan interpretasi hasil.

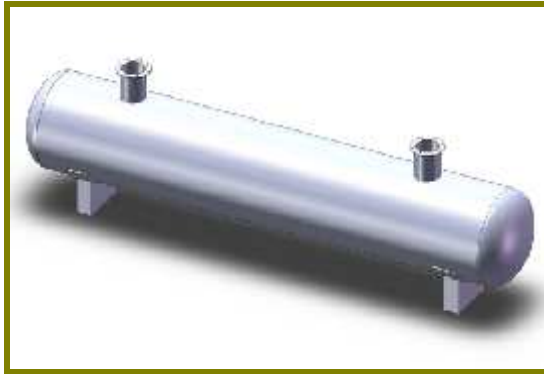
Berikut adalah *flowchart* mekanismenya, yaitu :



Gambar 2. *Flowchart* Pemodelan dan Analisis

2. Pemodelan Bejana Tekan

Pemodelan bejana tekan jenis *horizontal drum vessel* dibuat dengan bantuan program *SolidWorks 2007*. Model elemen untuk bejana tekan dibuat dalam bentuk tiga dimensi sesuai dengan ukuran yang sebenarnya. Untuk keperluan analisis akan dilakukan pemotongan pada bagian yang memiliki konsentrasi tegangan paling tinggi, dimana terjadi pada sambungan shell dan head, shell dan nozzle, serta pada tumpuan (*support*) bejana. Gambar 3 di bawah menunjukkan hasil pemodelan bejana dengan program *SolidWorks 2007*.

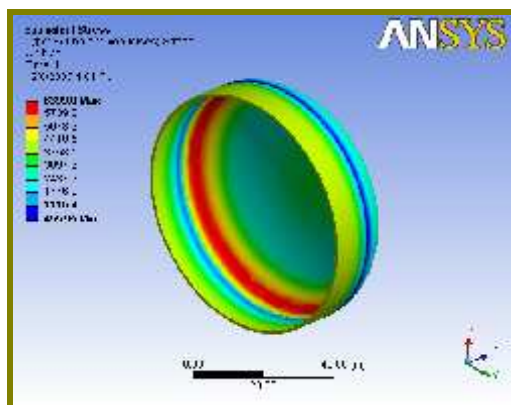


Gambar 3. Isometri Pemodelan Bejana Tekan

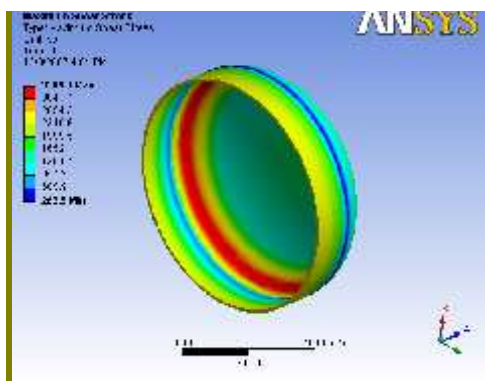
1. Analisis Tegangan dan Regangan

a. Distribusi Tegangan pada Head dan Shell

Pada gambar 4 di bawah menunjukkan pola distribusi tegangan normal pada dinding bejana setelah diberikan tekanan 120 psi. Dapat dilihat, dimana tegangan maksimum yang terjadi sebesar 6399,8 psi pada head di daerah sekitar sambungan antara *head* dan *shell*. Untuk tegangan minimum yang terjadi sebesar 455,95 psi.



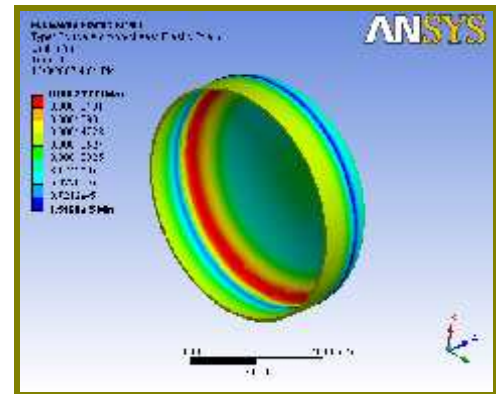
Gambar 4. Distribusi Tegangan pada Head dan Shell



Gambar 5. Distribusi Tegangan Geser pada Head

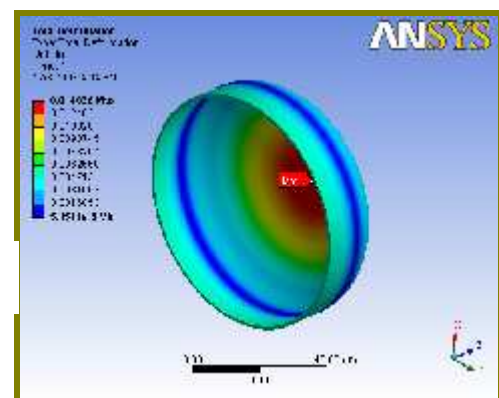
Gambar 5 di atas menunjukkan pola distribusi tegangan geser pada dinding bejana setelah diberikan tekanan 120 psi. Dimana tegangan geser maksimum yang terjadi sebesar 3389,1 psi dan untuk tegangan geser minimum yang terjadi sebesar 262,5 psi.

b. Distribusi Regangan pada Head dan Shell



Gambar 6. Distribusi Regangan pada Head dan Shell

Pada gambar 6 menunjukkan pola distribusi regangan pada dinding bejana setelah diberikan tekanan 120 psi. Dimana regangan maksimum yang terjadi sebesar $2,13 \times 10^{-4}$ in/in. Dan untuk regangan minimum yang terjadi sebesar $1,52 \times 10^{-5}$ in/in.



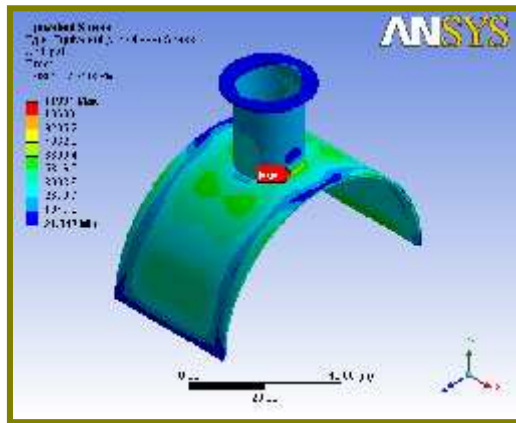
Gambar 7. Deformasi Total pada Head dan Shell

Gambar 7 di atas menunjukkan bentuk deformasi total pada dinding bejana setelah diberikan tekanan 120 psi. Dimana deformasi maksimum yang terjadi sebesar $1,4 \times 10^{-2}$ inchi terjadi pada daerah bagian ujung *head*. Dan untuk deformasi minimum yang terjadi di

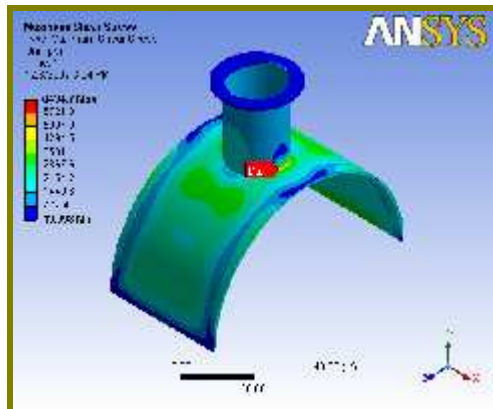
daerah sekitar *shell* di dekat sambungan, yaitu sebesar $5,15 \times 10^{-5}$ inchi.

c. Distribusi Tegangan pada *Nozzle* dan *Shell*

Pada gambar 8 menunjukkan bentuk distribusi tegangan normal pada dinding *nozzle* dan *shell* setelah diberikan tekanan 120 psi. Dimana tegangan maksimum yang terjadi sebesar 11931 psi. Dan untuk tegangan normal minimum yang terjadi sebesar 24,924 psi.



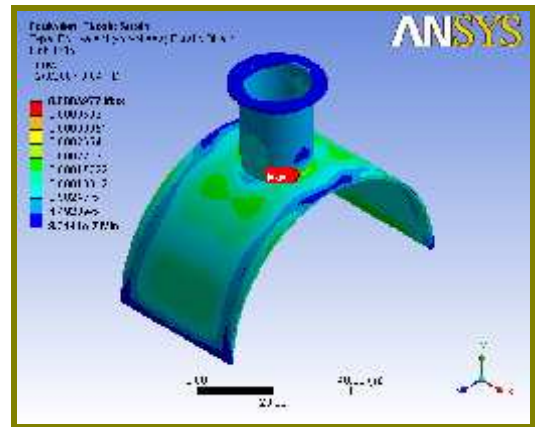
Gambar 8. Distribusi Tegangan pada *Nozzle* dan *Shell*



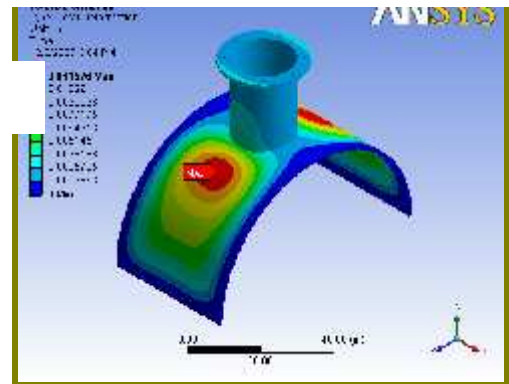
Gambar 9 di atas menunjukkan bentuk distribusi tegangan geser pada dinding *nozzle* dan *shell* setelah diberikan tekanan 120 psi. Dimana tegangan geser maksimum yang terjadi sebesar 6434,7 psi. Dan untuk tegangan geser minimum yang terjadi sebesar 13,998 psi.

d. Distribusi Regangan pada *Nozzle* dan *Shell*

Pada gambar 10 di bawah menunjukkan pola distribusi regangan pada dinding bejana setelah diberikan tekanan 120 psi. Terlihat regangan maksimum yang terjadi sebesar $3,977 \times 10^{-4}$ in/in, pada *nozzle* di daerah sekitar sambungan dengan *shell*. Dan untuk regangan minimum yang terjadi sebesar $8,314 \times 10^{-7}$ in/in.



Gambar 10. Distribusi Regangan pada *Nozzle* dan *Shell*



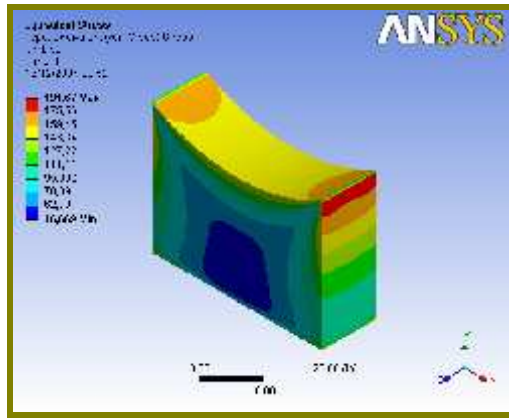
Gambar 11. Deformasi Total pada *Nozzle* dan *Shell*

Gambar 11 menunjukkan bentuk deformasi total pada dinding bejana setelah diberikan tekanan 120 psi. Dimana dapat dilihat deformasi maksimum yang terjadi sebesar $1,157 \times 10^{-2}$ inchi. Dan untuk deformasi minimum yang terjadi sebesar 0,00 inchi.

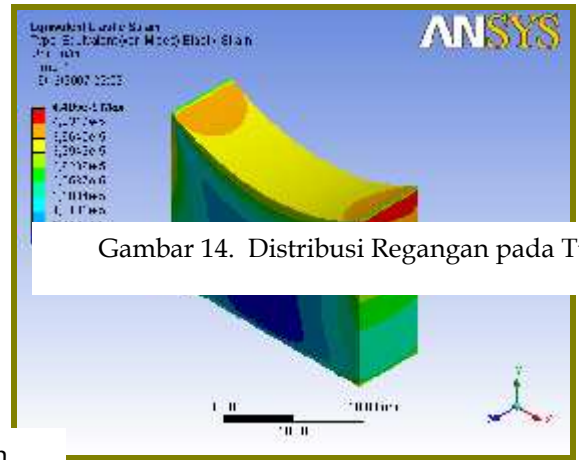
2. Analisis Kekuatan Tumpuan (*Support*)

a. Distribusi Tegangan pada Tumpuan

Pada gambar 12 di bawah menunjukkan pola distribusi tegangan normal pada tumpuan bejana setelah diberikan beban berat komponen bejana dan fluida dalam bejana sebesar 37786,5 lb (17126 kg). Dapat dilihat, dimana tegangan maksimum yang terjadi sebesar 191,67 psi pada bagian atas tumpuan dan tegangan minimum yang terjadi sebesar 46,669 psi.

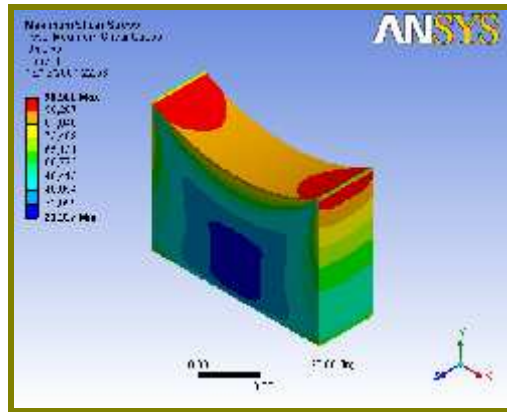


Gambar 12. Distribusi Tegangan pada Tumpuan

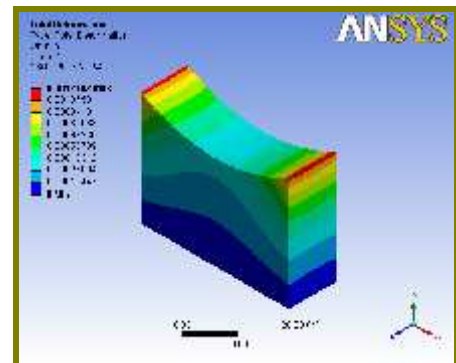


Gambar 14. Distribusi Regangan pada Tumpuan

Gambar 13 menunjukkan pola distribusi tegangan geser pada tumpuan bejana. Dapat dilihat, dimana tegangan geser maksimum yang terjadi sebesar 98,566 psi pada bagian atas tumpuan dan tegangan geser minimum yang terjadi sebesar 23,337 psi.



Pada gambar 15 di bawah menunjukkan pola deformasi total pada tumpuan bejana. Dapat dilihat, dimana deformasi maksimum yang terjadi sebesar $1,2 \times 10^{-3}$ in pada bagian atas tumpuan dan deformasi minimum yang terjadi sebesar $1,3447 \times 10^{-4}$ in.



Gambar 15. Deformasi Total pada Tumpuan

b. Distribusi Regangan pada Tumpuan

Pada gambar 14 di bawah menunjukkan pola distribusi regangan pada tumpuan bejana setelah diberikan beban berat komponen bejana dan fluida dalam bejana sebesar 37786,5 lb (17126 kg). Dapat dilihat, dimana regangan maksimum yang terjadi sebesar $4,405 \times 10^{-5}$ in/in dan untuk regangan minimum yang terjadi sebesar $1,0726 \times 10^{-5}$ in/in.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan *ANSYS Rel 11*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan Ansys kita dapat melihat distribusi tegangan, regangan dan deformasi pada dinding bejana.
2. Pada bejana tekan, intensitas tegangan paling besar terjadi pada daerah sambungan bejana dengan komponen – komponennya, dimana terjadinya persoalan diskontinu akibat perbedaan geometri dinding bejana.

3. Dari hasil analisis menggunakan Ansys pada tekanan 120 psi di dapatkan tegangan terbesar terjadi pada sambungan antara nozzle dan shell yaitu; tegangan tarik maksimum sebesar 11931 psi dan tegangan geser maksimum sebesar 6434,7 psi. Sedangkan untuk deformasi maksimum terjadi pada head sebesar $1,2 \times 10^{-2}$ in.
4. Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 11931 psi, lebih kecil dari tegangan ijin bahan bejana sebesar 17500 psi, yang berarti konstruksi bejana cukup kuat.

2. Saran

- Dalam melakukan analisis dengan menggunakan metode elemen hingga dapat dibuatkan model dengan jumlah elemen yang lebih banyak, sehingga akan didapatkan hasil yang lebih mendekati nilai sebenarnya.
- Menggunakan perangkat lunak (*software*) yang mendukung pemodelan struktur sesuai aplikasi dan implemenetasinya di lapangan.
- Penelitian dapat dilakukan dengan mengadakan studi eksperimen secara langsung dengan memberikan beban dinamis, sehingga akan diperoleh hasil yang lebih akurat.

REFERENSI

1. Brownell, LE and Young. 1959. **Process Equipment Design : Vessel Design**. New York: John Wiley and Sons, Inc.
2. Carucci, Vincent A. 1999. **Overview of Pressure Vessel Design**. New York: Carmagen Engineering, Inc.
3. Jawad, Maan H. and Farr, James R. 1989. 2th edition, **Structural Analysis and Design of Process Equipment**. Canada: John Wiley and Sons, Inc.
4. Juvinall, Robert C. 1967. 2th edition, **Engineering Considerations of Stress, Strain, and Strength**. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
5. Kaminski, Clemens. 2005, **Stress Analysis and Pressure Vessels**. University of Cambridge: www.cheng.cam.ac.uk.
6. Megyesy, E. F. 1983. 6th edition, **Pressure Vessel Handbook**. Tusla: Pressure Vessel Handbook Publishing, Inc.
7. Moaveni, S. 1999, **Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS**. New Jersey: Prentice Hall.
8. Timoshenko, Steven J. and Krieger. 1970. 2th edition, **Theory of Plates and Shells**. Tokyo: McGraw-Hill Companies, Inc.
9. Ugural, Ansel C. 2004. **Mechanical Design : An Integrated Approach**. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
10. Anonim, Manual User ANSYS Rel 11, ANSYS Inc, 2006. www.ansys.com.
11. Anonim, ANSYS Structural Analysis Guide, ANSYS Inc, 2006. www.ansys.com.
12. Anonim, ASME Section VIII, Division 1 and 2. 1999. www.asme.org.
13. Anonim, API 620 Standard. 1998. 10th edition.
14. Anonim, API 650 Standard. 1998. 10th edition.